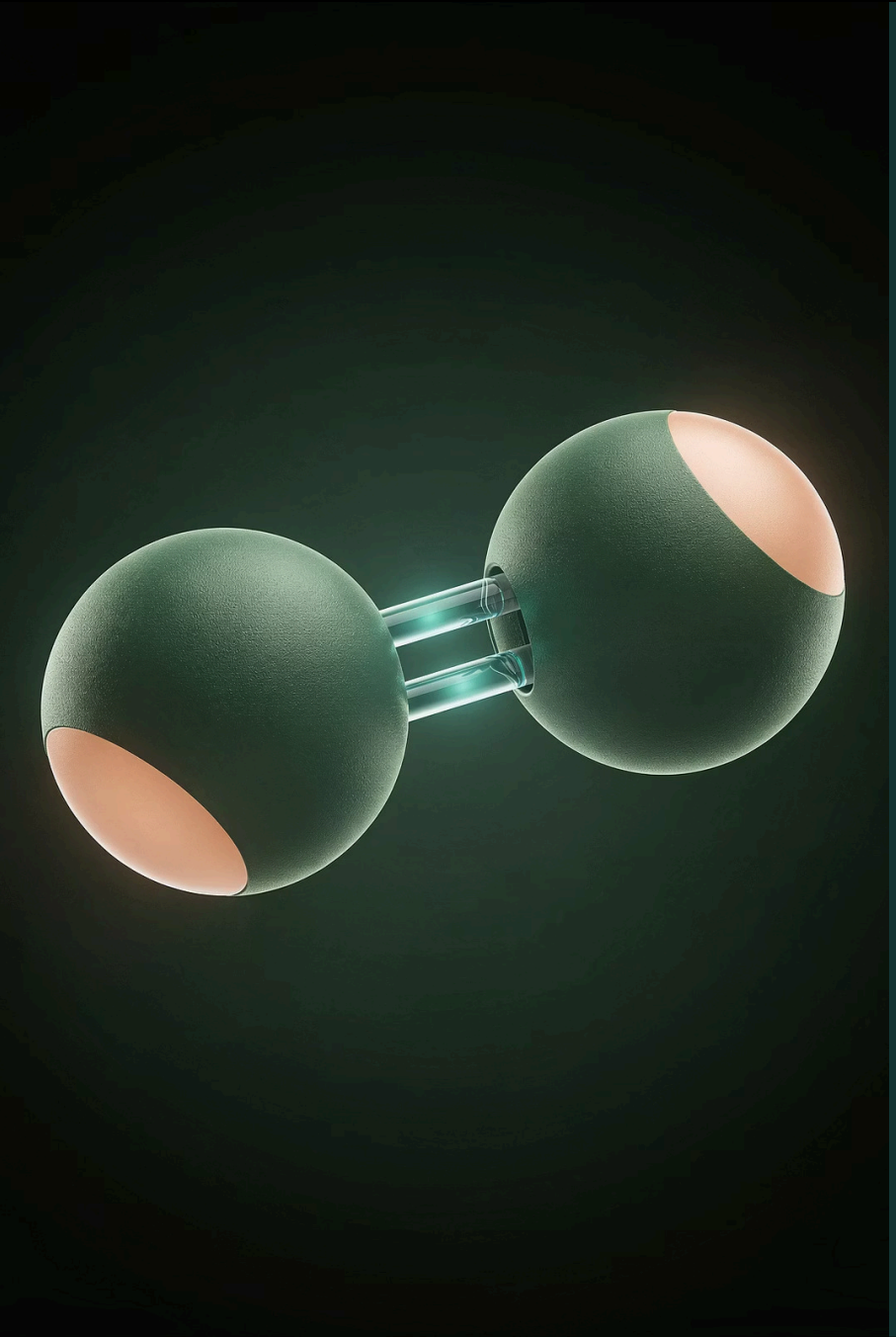


Radikalik Katılma: HBr'in Peroksitli Ortamda Alkene Katılması

Ders Sunumu

TERADİGMA

Alken Nedir? O "Gevşek Kapı" Ne Anlama Geliyor?

İki karbon atomu bazen birbirine **çift bağ** kurarak alken adı verilen yapıyı oluşturur.

Sağlam Kol

Bu çift bağın bir kolu son derece sağlamdır; kolayca kırılmaz.

Gevşek Kapı

Diğer kolu ise her an açılıp yeni atom kabul etmeye hazır, havada asılı duran gevşek bir kapı gibidir.

Giriş Noktası

Bu gevşek kapı, katılma reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi için özenle tasarlanmış bir giriş noktasıdır.

> 🤔 **Düşün:** Neden karbon-karbon çift bağının bir kolu sağlam, diğeri gevşek olarak inşa edilmiş?

HBr ve Markovnikov Kuralı: Karanlıktaki Düzen

Hidrojen bromür (HBr), bir hidrojen ve bir brom atomunun birleşmesinden oluşur.

1 **Markovnikov Kuralı İşletilir**

Karanlık ve sakin bir ortamda HBr alkene katılırken bu kural devreye girer.

2 **Yerleşim Düzeni**

Hidrojen, zincirin hidrojence zengin ucuna; brom ise diğer karbona yerleştirilir.

3 **Katı Kanun**

Bu yerleşim düzeni son derece katı bir kanunla belirlenir; rastgele değildir.

Kharasch Etkisi: Küçük Bir Tetikleyici, Büyük Bir Dönüşüm

Ortama **peroksit** eklendiğinde veya sistem ışıkla buluşturulduğunda sistem farklı bir vitese geçirilir.

Ürün Tersine Çevrilir

Ürün tamamen tersine çevrilerek **Anti-Markovnikov** yapısı inşa edilir.

Aynı Başlangıç Maddeleri

Aynı başlangıç maddeleri (alken + HBr), tek bir küçük farkla bambaşka bir ürün verir.

1930'lu Yıllar

Bu keşif, laboratuvarda "safsızlık" sanılan peroksitin aslında yeni bir mekanizmanın anahtarı olduğunun anlaşılmasıyla bilim literatürüne girdi.

> 🤔 **Düşün:** Bir "kirlilik" nasıl olur da yepyeni bir hazineye kapı aralıyor?

Neden Sadece HBr? Dört Kardeş Arasındaki İnce Ayar

Dört halojen asidinden (HF, HCl, HBr, HI) yalnızca HBr bu görevi yerine getirebilecek şekilde donatılmıştır.

Egzotermik Akış

Bir reaksiyonun kendiliğinden akabilmesi için her adımda enerji vermesi (egzotermik olması) gerekir — tıpkı çağlayan bir nehir gibi.

Enerji Engeli

Eğer herhangi bir adımda enerji emilmesi gerekirse sistem yokuş yukarı akan su gibi durur.

Dört Kardeşin Kıyaslaması

HF — Çalışmaz

İçindeki bağ çok güçlü (yaklaşık 135 kcal/mol); sonraki adımda bu bağ kırılamaz.

HCl — Çalışmaz

Yine güçlü bağ (yaklaşık 103 kcal/mol); ikinci adımda enerji ister.

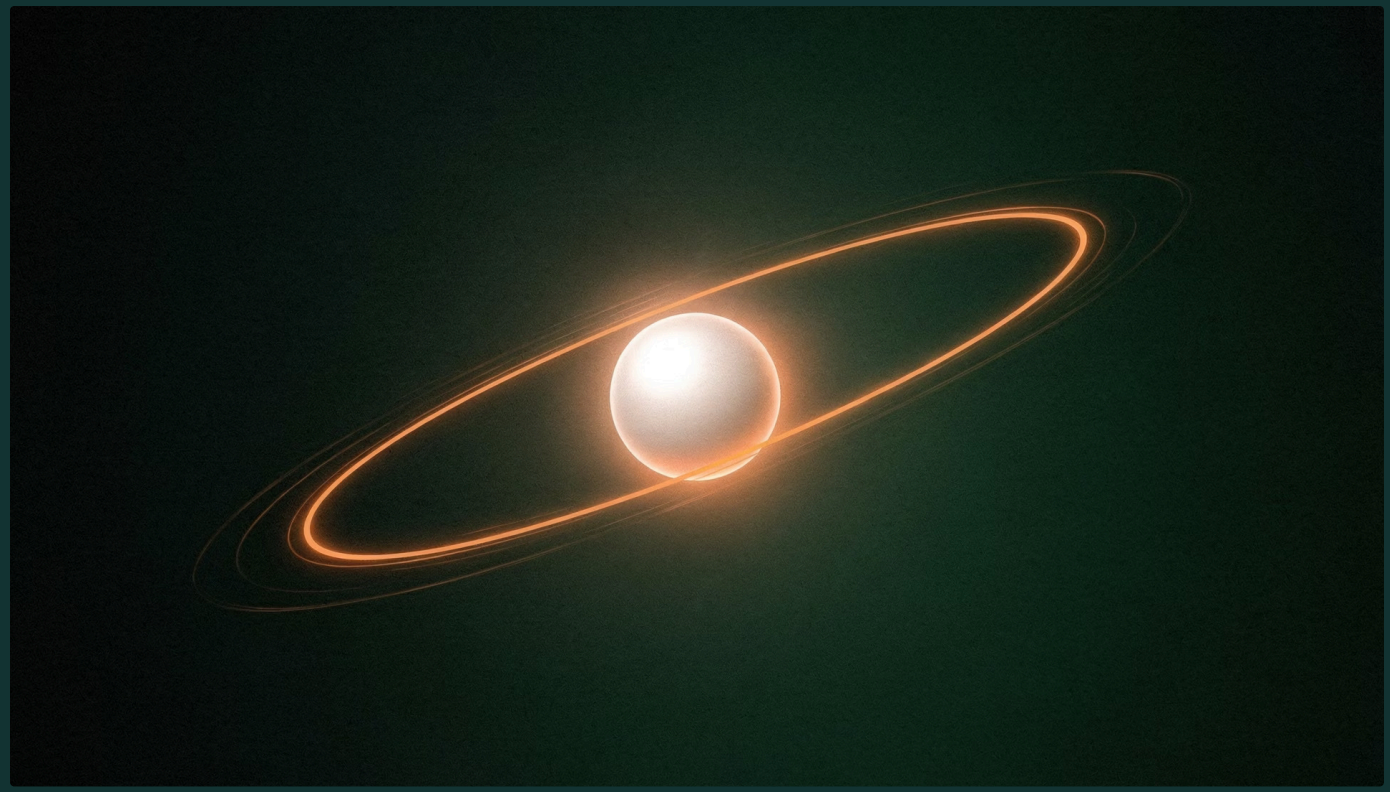
HBr — Kusursuz İşler

Tam bir denge noktasında (yaklaşık 87.5 kcal/mol); her iki adım da enerji verir.

HI — Çalışmaz

Bağ çok zayıf (yaklaşık 71 kcal/mol); ilk adımda bile alkenin kapısını açacak enerji toparlayamaz.

Bu dört kardeşten yalnızca birinin tam da bu ince işe uygun olması tesadüfle açıklanamaz.



Radikal Nedir? Reaksiyonun Elçileri

Bu mekanizmada devreye **radikal** adı verilen özel tanecikler sokulur.

Eşleşmemiş Elektron

Radikaller, üzerinde eşleşmemiş (yalnız kalmış) bir elektron taşıyan, son derece hareketli ve yüksek enerjili taneciklerdir.

Yüksek Aktivite

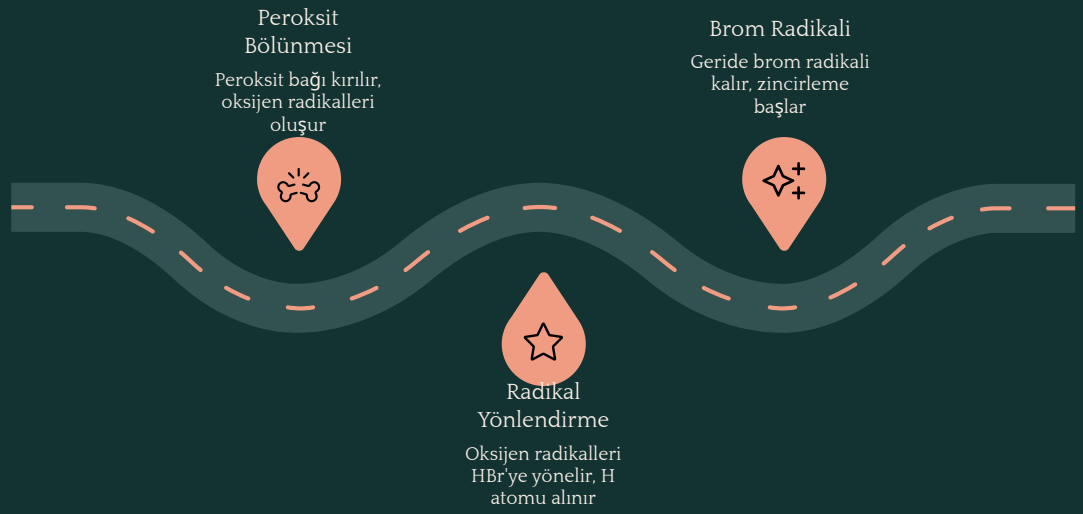
Bu yalnız elektron, radikali çok aktif kılar.

Üç Aşama

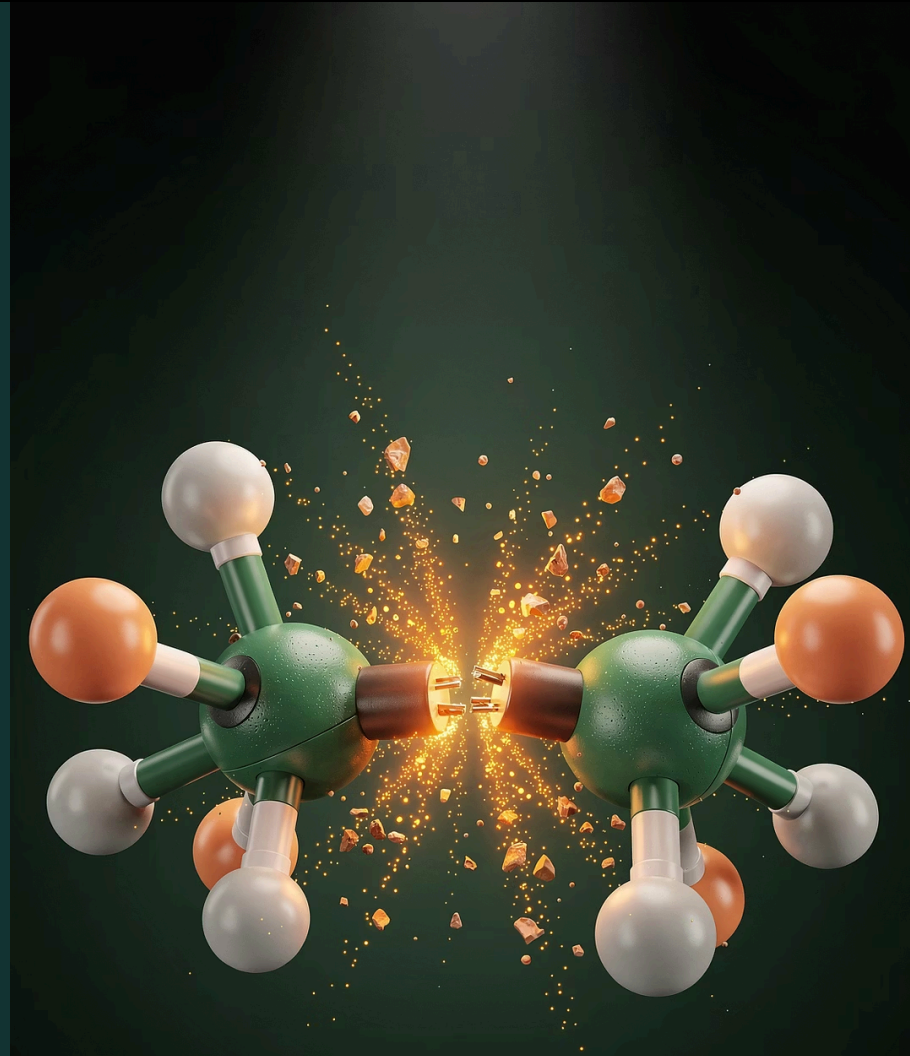
Reaksiyon üç aşamayla yürütülür: **Başlama → Gelişme → Sonlanma**

1. Aşama: Başlama — Zayıf Halkanın Kırılması

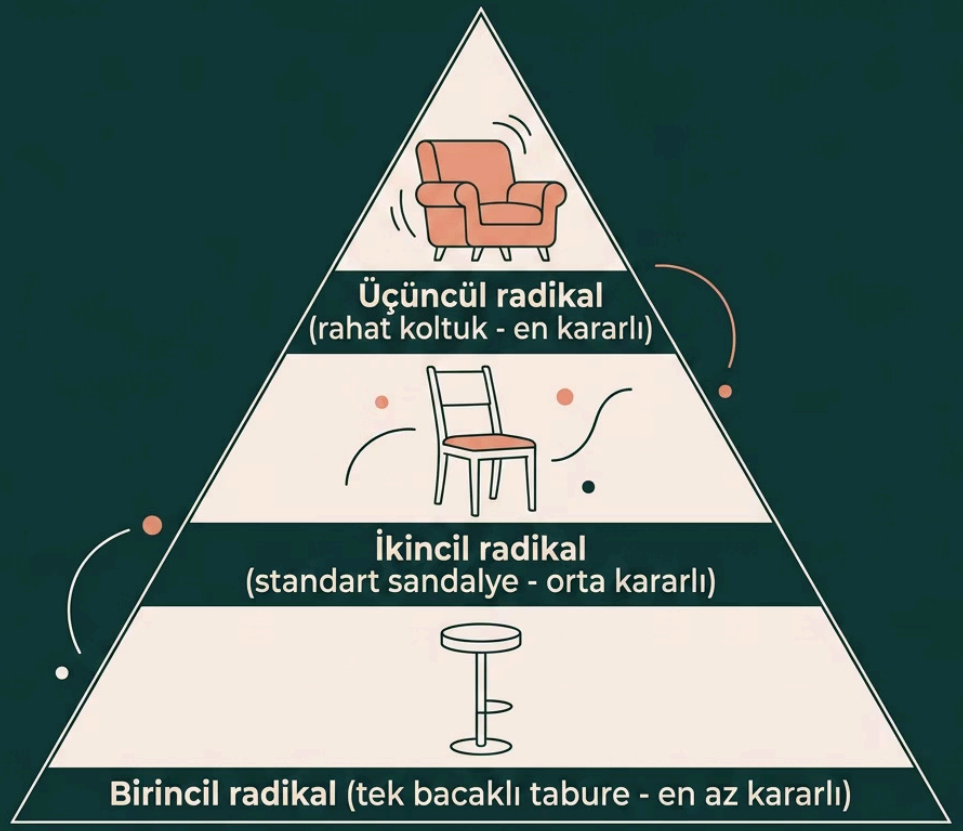
Peroksit molekülü, ellerini birbirine çok gevşek tutan iki oksijen atomu gibidir.

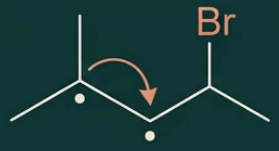


Hafif bir ısı veya bir ışık huzmesiyle bu gevşek bağ kırılır; oksijen radikalleri ortaya çıkar. Oksijen radikalleri HBr'ye yönlendirilir ve hidrojen atomunu alır. Geride reaksiyonun asıl elçisi olan **brom radikali** bırakılır; zincirleme reaksiyon başlatılmaya hazır hale getirilmiştir.



2. Aşama: Gelişme — Brom Nereye Yerleştirilir?





Brom atomu uç karbona yerleştirilir, yalnız elektron iç karbona geçer ve daha kararlı konuma kavuşturulur.

Brom radikali, alkenin gevşek kapısına temas ettirilir; şimdi kritik bir yerleşim kararı devreye girer.

Radikal Kararlılığı

Ara ürün olarak oluşan radikaller kararlılıklarına göre sıralanır: birincil (tek bacaklı tabure), ikincil (standart sandalye), üçüncül (rahat koltuk).

Uç Karbona Yerleşim

Brom atomu zincirin **uç** karbonuna yerleştirilir; böylece yalnız elektron iç karbona geçerek daha kararlı bir konuma kavuşturulur.

Anti-Markovnikov Ürünü

Bu yerleşim sayesinde Anti-Markovnikov ürünü inşa edilir.

2. Aşama: Gelişme — Ebelemece Oyunu

Dengesini bulan karbon radikali, sıradaki HBr molekülünden bir hidrojen atomunu alır.

Ürün Tamamlanır

Hedef ürün tamamlanır.

Döngü Sürdürülür

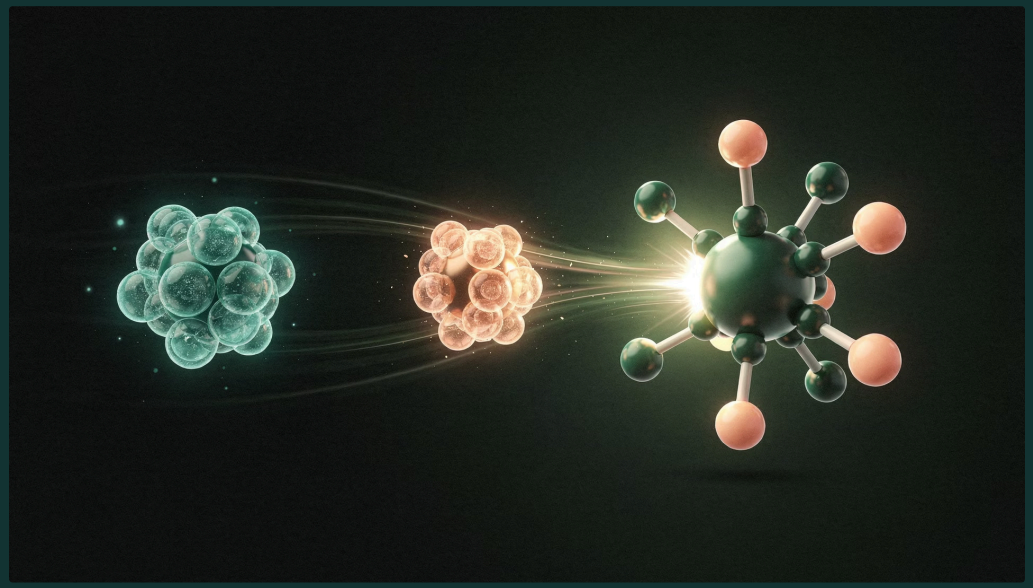
HBr'den geriye kalan yeni brom radikali sahaya sürülerek döngü sürdürülür.

On Binlerce Molekül

Tek bir ışık huzmesi veya bir damla peroksitle başlatılan bu devridaim sayesinde on binlerce molekül işlenerek dönüştürülür.

> 🤔 **Düşün:** Bir kez başlatılan bu zincirleme döngü, enerji yenilemeden on binlerce molekülü nasıl dönüştürebiliyor?

3. Aşama: Sonlanma — Dengenin Tesisi



Hiçbir süreç sonsuza dek başıboş bırakılmaz; zincirleme reaksiyona ustalıkla nokta konulur.

Radikaller Birleşir

Ortamda hızla hareket eden iki radikal birbiriyle temas ettirildiğinde eşleşmemiş elektronlar birleşir.

Kararlı Moleküller

Radikalik heyecan sönümlenerek kararlı ve sakin moleküller oluşturulur.

Sistem Durur

Hammadde azaldığında veya hedef ürün yeterince üretildiğinde sistem kendiliğinden durur.

Atomlar Birer Fail mi, Yoksa Görevli mi?

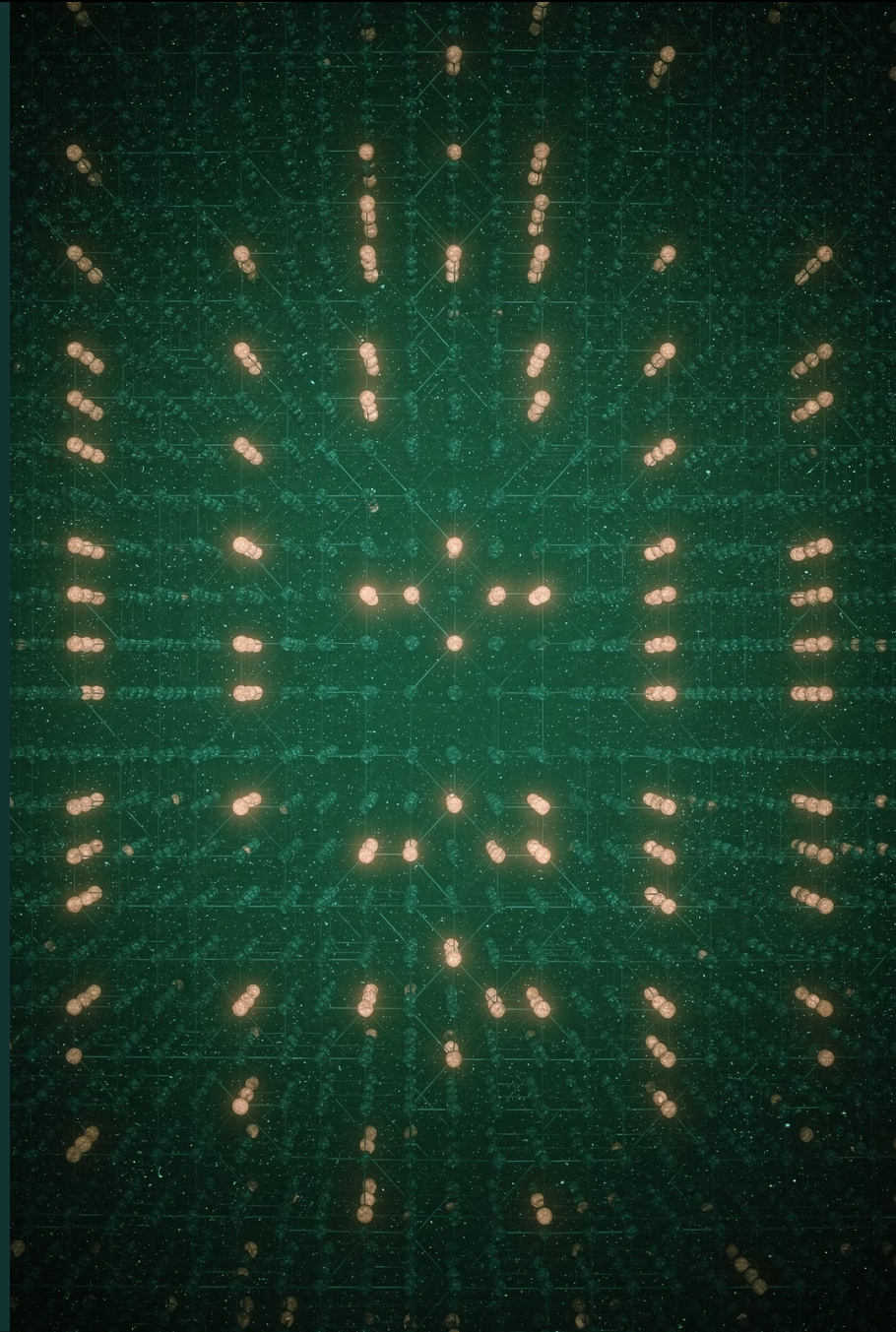
Ders kitaplarında "brom saldırır", "radikal en iyi yolu tercih eder" gibi ifadeler kullanılır — ama gerçekte ne olup bitmektedir?

Şuursuz Zerreler

Ne bromin stratejik bir kararı, ne karbonun bir planı, ne de radikalin bir isteği vardır. Atomlar proton, nötron ve elektrondan ibaret şuursuz zerrelerdir; kendi başlarına saldırmaz, **yönlendirilirler.**

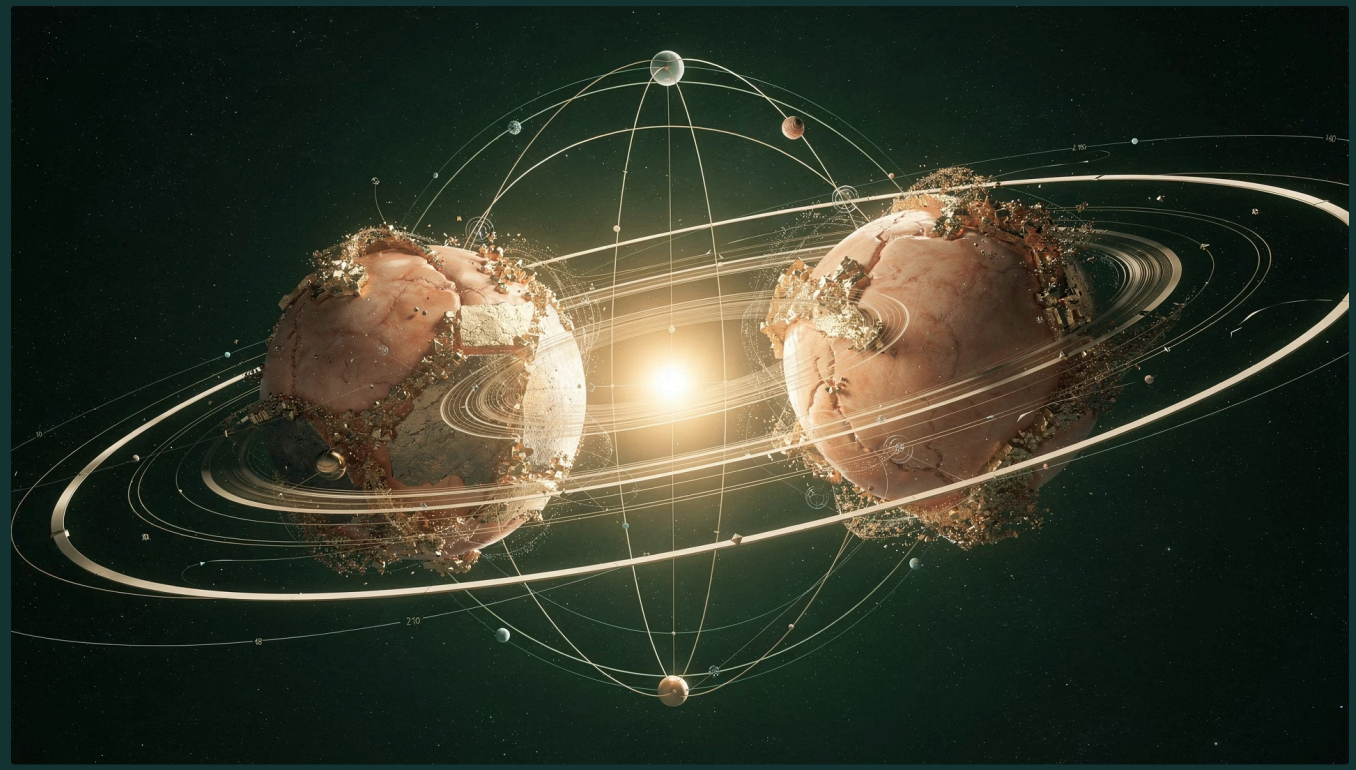
Kanunların Saati

Bu reaksiyon, zerrelerin başarısı değil; onları o düzene sokan kanunların tıkır tıkır işleyen saatidir.



HBr'deki İnce Ayar Bize Ne Söylüyor?

Dört halojen asidinden yalnızca birinin bu hassas göreve uygun olması, bilimsel bir bulgunun ötesinde derin bir anlam taşır.



Milimetrik Ölçü

H–Br bağının tam 87.5 kcal/mol değerinde tanzim edilmesi — ne biraz güçlü, ne biraz zayıf — sonsuz imkânlar arasından seçilmiş milimetrik bir ölçüdür.

Tasarıma İşaret

Yalnız kalmış bir elektron taşıyan şuursuz bir zerrenin, sonunda hayat kurtaran bir ilacın etken maddesine dönüşmesi; ilim, irade ve kudret sahibi bir yaratıcının tasarımına işaret eder.

Lüzumsuz Hiçbir Şey Yok

"Kirlilik" sayılan peroksitin yeni bir hazineye anahtar olması, kainatta hiçbir şeyin lüzumsuz tasarlanmadığını kanıtlar.

Özet: Bir Laboratuvar Tüpünden Büyük Tablo

Gevşek Kapı

Alkenin çift bağındaki **gevşek kapı**, katılma reaksiyonlarının mümkün kılındığı tasarım noktasıdır.

İki Mekanizma

Markovnikov (karanlık ortam) ve **Anti-Markovnikov / Kharasch Etkisi** (peroksitli ortam), aynı hammaddelerden iki farklı, ikisi de faydalı ürünü üretmek üzere kurgulanmış iki ayrı mekanizmadır.

İnce Ayar Delili

Yalnızca HBr'nin bu işe uygun olması, **ince ayar** (fine-tuning) ilkesinin kimyasal bir delilidir.

Hassas Nizam

Başlama → Gelişme → Sonlanma zinciri; şuursuz atomların değil, onları o düzene sokan **hassas nizamın** eseridir.